

О РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЙ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Трофимов В.Б., Ковалев Н.В.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

В данной работе рассматривается актуальная прикладная задача построения интеллектуальной системы диагностики состояний доменной печи. Для ее решения предложена комбинированная процедура, объединяющая аппарат распознавания образов и динамических экспертных систем. Выполнено моделирование, позволяющее оценить эффективность созданных алгоритмов.

Ключевые слова: экспертная система, распознавание образов, база знаний.

In this work we consider urgent application of blast furnace control intelligent system design. For its solution we introduce combined procedure which integrates pattern recognition and dynamic expert systems. We carry out a modeling which allows us to appreciate developed algorithms efficiency.

Keywords: Expert system, pattern recognition, knowledge base.

Доменная печь относится к классу сложных объектов контроля и управления, так как она плохо формализуема и для нее не всегда можно применить классический математический аппарат. Существующие математические модели доменного процесса не являются высокоточными в большом диапазоне изменений входных и выходных воздействий объекта, не отражают сложное поведение объекта, также возникают проблемы из-за необходимости оценки многочисленных и постоянно меняющихся коэффициентов, влияния сильных помех и изменчивости ситуаций на объекте. Процесс выплавки чугуна подвержен влиянию внешних воздействий, которые вызывают нарушения хода доменной печи и требуют высокой квалификации операторов-технологов при управлении процессом.

В результате анализа проблемной ситуации сформирована следующая задача на разработку интеллектуальной системы диагностики состояний доменной печи.

Исходные данные и условия задачи: 1. Описание действующей системы управления доменной печью № 3 ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», состоящей из подсистем: «Нижняя загрузка», «Верхняя загрузка», «КИП», «Каупер». 2. Аналоги разрабатываемой системы: экспертная система «Интеллект доменщика» [1], логико-количественная экспертная система [2], интеллектуальная система управления металлургическими агрегатами [3]. 3. Методика построения продукционной модели представления знаний: «*IF* (условие), *THEN* (действие)». 4. Программный продукт разработки интеллектуальных систем – Exsys CORVID. 5. Технологические инструкции по производству чугуна Западно-Сибирского металлургического комбината, практический опыт экспертов (опытных доменщиков) [1–4]. 6. Причины, вызывающие

нарушение хода доменной печи [1–4]. 7. Параметры, используемые при диагностике [1–4]: температура периферийных газов, температура колошниково-го газа, давление колошниково-го газа, расход дутья, давление горячего дутья, шомпольные диаграммы (уровень шихты), общие и частные перепады давления, содержание CO_2 и температура по сечению колошника. 8. Описание аномальной работы печи [1]: периферийный ход, канальный ход, осевой ход печи, тугой ход, верхнее подвисяние шихты, нижнее подвисяние шихты, разогрев печи, похолодание печи. 9. Критерий эффективности распознавания состояний доменной печи:

$$Q = \frac{K_{\text{в}}}{K_{\text{о}}} \cdot 100 \%,$$

где $K_{\text{в}}$ – количество верно распознанных состояний доменной печи, $K_{\text{о}}$ – общее количество проанализированных ситуаций. 10. Ограничения: диагностические решения должны формироваться с упреждением на время, достаточное для устранения аномалий; решения интеллектуальной системы должны использовать протокол взаимодействия с подсистемой выработки управляющих воздействий.

Требуется разработать интеллектуальную систему диагностики состояний доменной печи, эффективно работающую в затрудненных условиях.

Для решения поставленной задачи предлагается структура интеллектуальной системы (рис. 1). Создание этой системы включало выполнение следующих основных этапов: описание проблемной ситуации, извлечение знаний, структурирование и формализация знаний, программная реализация, моделирование с применением натурных данных. В качестве методов извлечения знаний были использованы диалоги, интервью с экспертами, а также анализ ГОСТов, нормативной документации, технологических инструкций.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $W_K^D(t)$, $W_H^D(t)$, $U^D(t)$, $Y^D(t)$, $S^D(t)$ – действительные (D) значения векторов-функций контролируемых (K) и неконтролируемых (H) внешних воздействий, управляющих и выходных воздействий, состояний объекта управления в момент времени t ; $W_K^И(t)$, $U^И(t)$, $Y^И(t)$, $S^И(t)$ – измеренные (И) значения векторов внешних, управляющих и выходных воздействий, а также состояний объекта; $\tilde{Z}(t) = \{\tilde{W}_K(t), \tilde{U}(t), \tilde{Y}(t), \tilde{S}(t)\}$ – вектор оценок соответствующих переменных объекта управления; ИБ – интерфейсный блок; НИ – неинструментальная информация; СВУУ – связь с вышестоящим уровнем управления.

В предложенной системе использованы продукционные модели (правила) представления знаний типа «IF(условие), THEN(действие)», получившие наибольшее применение в металлургической промышленности [5]. База знаний (БЗ) состоит из набора правил. Программа выбора правила для конкретной ситуации посредством их перебора называется решателем (машиной логического вывода), который работает циклически. В каждом цикле он просматривает существующие факты из базы данных о ходе доменного процесса и правила из БЗ, а затем их сопоставляет и выбирает единственное правило, после чего оно срабатывает.

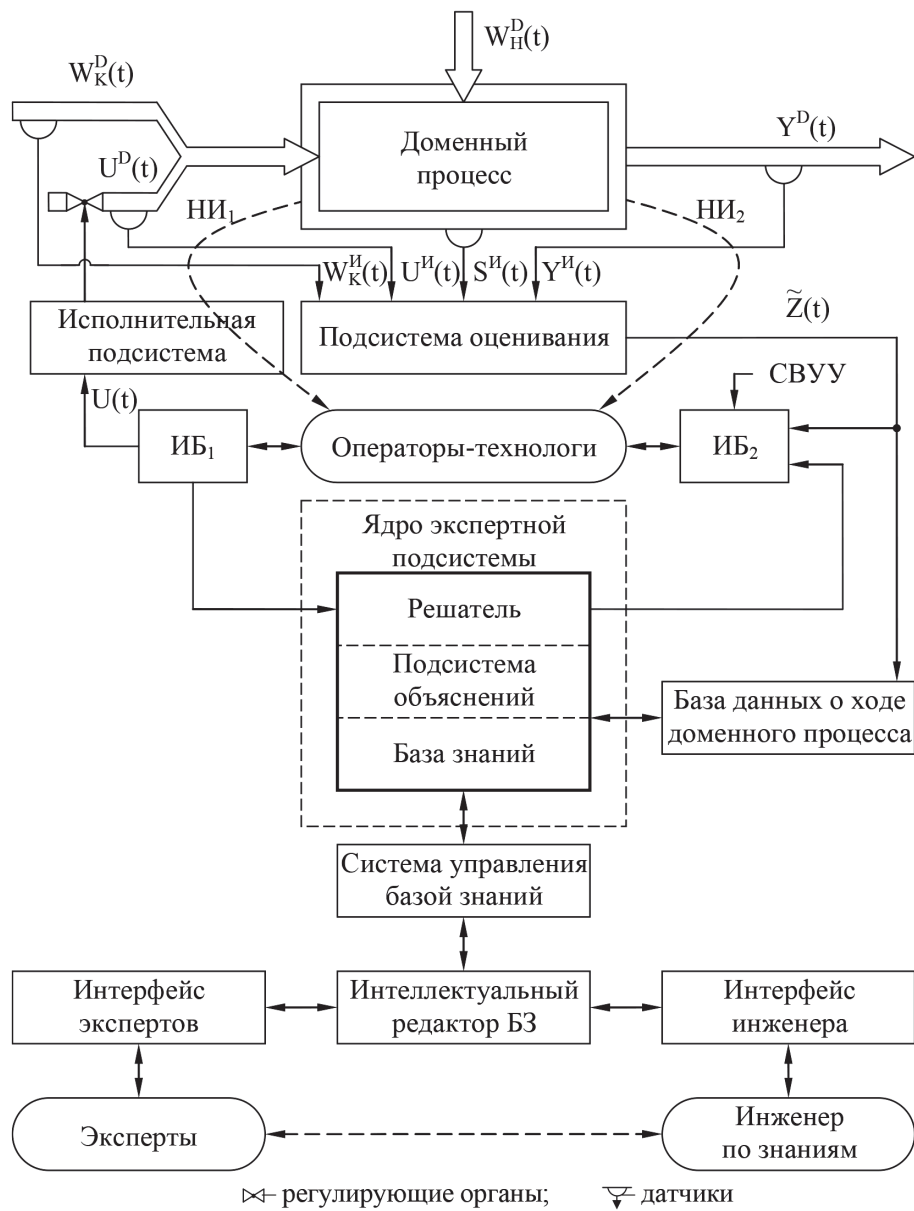


Рис. 1. Структура интеллектуальной диагностики состояний доменной печи и принятия решений

На основе структурирования знаний получена таблица, увязывающая типы хода доменной печи (например, нормального хода печи, периферийного хода газов) с их характерными информационными признаками (например, расход дутья, шомпольные диаграммы, давление колошникового газа).

Фрагмент продукционной модели в базе знаний имеет следующий вид: «<IF ((РД) = «1» and (ШД) = «1» and (ДКГ) = «1» and (ТКГ) = «1» and (ТПГ) = «1» and (ОЧП) = «1» and (СУТ) = «1» and (ДГД) = «1»)), THEN (НХП = 1; ПХГ = 0; ОХГ = 0; КХГ = 0; ВПШ = 0; НПШ = 0; ТХП = 0; РДП = 0; ПДП = 0)>; <IF ((РД) = «1» and (ШД) = «2» and (ДКГ) = «2» and (ТКГ) = «2» and (ТПГ) = «2» and (ОЧП) = «2» and (СУТ) = «2» and (ДГД) = «2»)), THEN (НХП = 0; ПХГ = 0,86; ОХГ = 0,13; КХГ = 0,13; ВПШ = 0,13; НПШ = 0,13; ТХП = 0,13; РДП = 0,17; ПДП = 0,33)>; <IF ((РД) = «3» and (ШД) = «2» and (ДКГ) = «2» and (ТКГ) = «3» and (ТПГ) = «3» and (ОЧП) = «3» and (СУТ) = «2» and (ДГД) = «3»)), THEN (НХП = 0; ПХГ = 0,29; ОХГ = 0,75; КХГ = 0,13; ВПШ = 0,25; НПШ = 0,25; ТХП = 0,5; РДП = 0,50; ПДП = 0,17)>», где РД – расход дутья; ШД – шомпольные диаграммы; ДКГ – давление колошниково-го газа; ТКГ – температура колошниково-го газа; ТПГ – температура периферийных газов; ОЧП – общий и частные перепады; СУТ – содержание CO_2 и температура по сечению колошника; ДГД – давление горячего дутья; НХП – нормальный ход печи; ПХГ – периферийный ход газов; ОХГ – осевой ход газов; КХГ – канальный ход газов; ВПШ – верхнее подвисяние шихты; НПШ – нижнее подвисяние шихты; ТХП – тугой ход печи; РДП – разогрев доменной печи; ПДП – похолодание доменной печи; (РД) = «1» означает, что оператор-технолог через интерфейсный блок наблюдает ровную линию расхода дутья с небольшими колебаниями, (РД) = «3» – снижается расход дутья; (ТКГ) = «1» – температура колошниково-го газа стабильна и лежит в диапазоне 200 – 250 °С, (ТКГ) = «2» – температура колошниково-го газа возрастает, разброс температур переходит в широкую линию; НХП = 1 означает, что наблюдается нормальный ход печи с вероятностью 1; ПХГ = 0,29 – периферийный ход газов с вероятностью 0,29; ОХГ = 0,75 – осевой ход газов с вероятностью 0,75 и т.д.

Программная реализация интеллектуальной системы диагностики хода доменной печи выполнена в среде Exsys CORVID, состоящей из среды разработки, включающей логические, командные блоки, блока «тип переменных», и среды исполнения (рис .2).

Ситуационное моделирование работы интеллектуальной системы диагностики состояний доменной печи осуществлялось с использованием натуральных данных Западно-Сибирского металлургического комбината. Для каждой ситуации оператор-технолог, выбирая значения количественных и качественных информативных признаков и отвечая на вопросы экспертной подсистемы в диалоговом режиме, получает оценку вероятности возникновения конкретного хода доменной печи и рекомендации по принятию решения.

Результаты моделирования работы интеллектуальной системы диагностики состояний доменной печи по ситуациям с использованием натуральных данных показали возможность достижения 95–97 % правильности распознавания. Для идентификации оставшихся нераспознанных ситуаций привлекается эксперт, который описывает, исследует и вносит их в базу знаний системы.

Предложена схема интеллектуальной системы диагностики состояния доменного процесса в рамках натурно-модельного подхода, разработаны продукционные модели представления знаний экспертов с применением натуральных данных, создано программное обеспечение системы, все это обе-

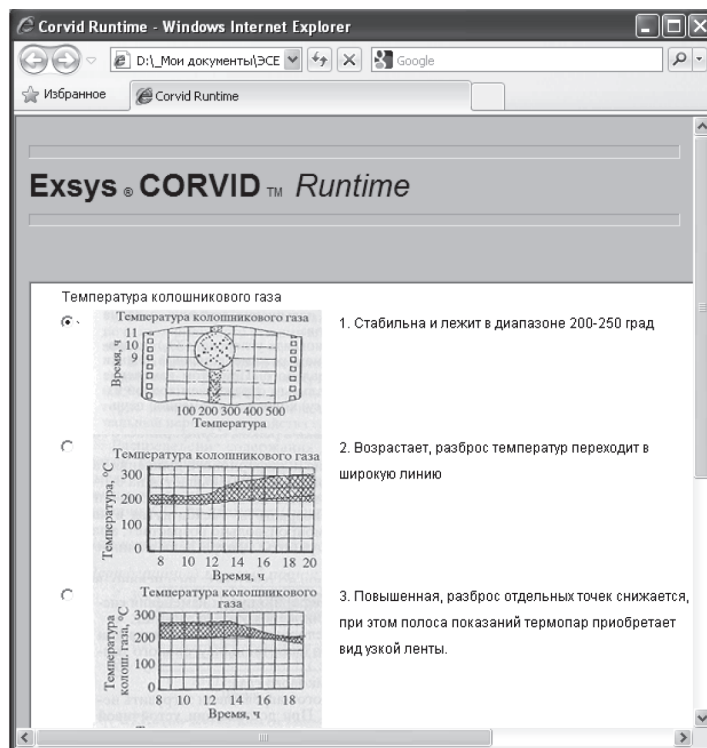


Рис. 2. Среда исполнения интеллектуальной системы управления доменной печью

спечивает достижение максимума правильно распознанных состояний хода доменной печи, снижение удельного расхода кокса на 0,3–0,5 %, снижение вероятности аварий на доменной печи, а также снижение выпуска некондиционного чугуна.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-4068.2015.8.

Список использованных источников

1. Спирин Н.А. Информационные системы в металлургии: Учебник для вузов / Н.А. Спирин и др. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. – 617 с.
2. Лисиенко В.Г. Структура трехуровневой АСУ ТП доменной печи с использованием логико-количественной экспертной системы: Учебное пособие / В.Г. Лисиенко, Е.Л. Суханов, В.А. Морозова, Ю.Н. Овчинников – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. – 82 с.
3. Соловьев В.И. Интеллектуальная автоматизированная система управления металлургическими агрегатами / В.И. Соловьев, Е.А. Павлова, В.А. Краснобаев // Черные металлы. – 2004. – № 7 – 8. – С. 26–29.
4. Зельцер С.Р. Учебно-тренажерный и исследовательский комплекс на базе компьютерных сетей доменного цеха ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» / С.Р. Зельцер, В.А. Долинский, С.М. Кулаков, Н.С. Поляков // Средства и системы автоматизации: Труды Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: СибГИУ, 1998. – С. 71–72.
5. Кулаков С.М. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: монография / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 223 с.